

PCT

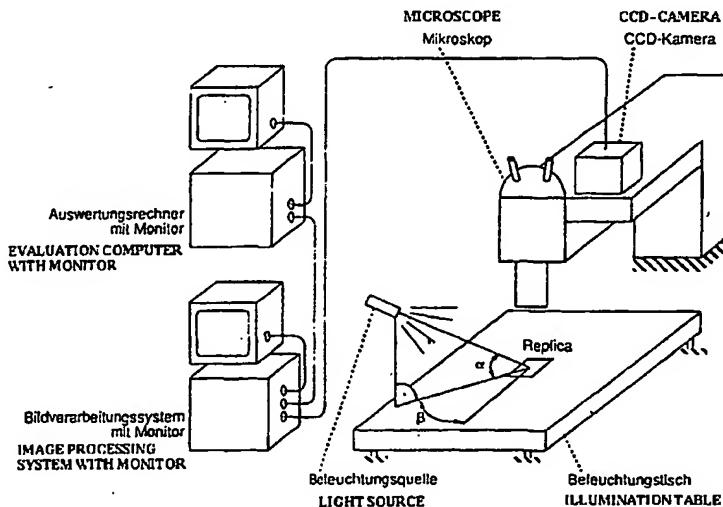
WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM

Internationales Büro



INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICH NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE  
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

(51) Internationale Patentklassifikation <sup>5</sup> :  A61B 5/103		A1	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 94/24936  (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 10. November 1994 (10.11.94)
<p>(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP94/01243</p> <p>(22) Internationales Anmeldedatum: 21. April 1994 (21.04.94)</p> <p>(30) Prioritätsdaten: P 43 13 258.8 23. April 1993 (23.04.93) DE</p> <p>(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): BEIERSDORF AG [DE/DE]; Unnastrasse 48, D-20245 Hamburg (DE).</p> <p>(72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): HOPPE, Udo [DE/DE]; Lotbeker Weg 7, D-2000 Hamburg (DE). LUNDERSTÄDT, Reinhard [DE/DE]; Georg-Raloff-Ring 26, D-22309 Hamburg (DE).</p> <p>(74) Gemeinsamer Vertreter: BEIERSDORF AG; Unnastrasse 48, D-20245 Hamburg (DE).</p>		<p>(81) Bestimmungsstaaten: JP, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).</p> <p><b>Veröffentlicht</b> Mit internationalem Recherchenbericht. Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen Frist. Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen eintreffen.</p>	
<p>(54) Title: PROCESS AND DEVICE FOR THE TECHNICALLY MEASURING THE TEXTURE OF THE HUMAN SKIN SURFACE BY THE RECORDING, REPRODUCTION AND ANALYSIS OF IMAGE DATA</p> <p>(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR QUANTITATIVEN BESTIMMUNG DER TEXTUR DER MENSCHLICHEN HAUTOBERFLÄCHE</p> <p>(57) Abstract</p> <p>A process for technically measuring the texture of the surface of the human skin by the recording, reproduction and analysis of image data in which grey-scale images of the skin or a print of the skin surface (replica) are made under targeted lighting of the skin or replica at a predetermined angle of illumination, mathematical characteristics of the grey-scale distribution are found via digital image processing and a) images of a plane structure of differing contrast are also produced and characteristics are found via the grey-scale transitions and/or b) the run lengths of a grey-scale value and analysed with reference to their standard distribution and distribution functions and significant deviations.</p> <p>(57) Zusammenfassung</p> <p>Verfahren zur meßtechnischen quantitativen Bestimmung der Textur der menschlichen Hautoberfläche durch Registrierung, Wiedergabe und Analysierung von Bildinformationen, dadurch gekennzeichnet, daß man Grauwertbilder von der Haut oder einem Abdruck der Hautoberfläche (Replica) unter gezielter Beleuchtung der Haut oder Replica unter einem definiertem Beleuchtungswinkel anfertigt und mathematische Kenngrößen über die Grauwertverteilung über digitale Bildverarbeitung ermittelt und daß man a) zusätzlich Bilder von unterschiedlich kontrastierter flächiger Struktur herstellt und Kenngrößen über die Grauwertübergänge ermittelt und/oder b) die Laufängen eines Grauwertes hinsichtlich ihrer Normverteilung und ihrer Verteilungsfunktionen sowie signifikanter Abweichungen analysiert.</p>			



**LEDIGLICH ZUR INFORMATION**

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AT	Oesterreich	GA	Gabon	MR	Mauretanien
AU	Australien	GB	Vereinigtes Königreich	MW	Malawi
BB	Barbados	GE	Georgien	NE	Niger
BE	Belgien	GN	Guinea	NL	Niederlande
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	NO	Norwegen
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	NZ	Neuseeland
BJ	Benin	IE	Irland	PL	Polen
BR	Brasilien	IT	Italien	PT	Portugal
BY	Belarus	JP	Japan	RO	Rumänien
CA	Kanada	KE	Kenya	RU	Russische Föderation
CF	Zentrale Afrikanische Republik	KG	Kirgisistan	SD	Sudan
CG	Kongo	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	SE	Schweden
CH	Schweiz	KR	Republik Korea	SI	Slowenien
CI	Côte d'Ivoire	KZ	Kasachstan	SK	Slowakei
CM	Kamerun	LI	Liechtenstein	SN	Senegal
CN	China	LK	Sri Lanka	TD	Tschad
CS	Tschechoslowakei	LU	Luxemburg	TG	Togo
CZ	Tschechische Republik	LV	Lettland	TJ	Tadschikistan
DE	Deutschland	MC	Monaco	TT	Trinidad und Tobago
DK	Dänemark	MD	Republik Moldau	UA	Ukraine
ES	Spanien	MG	Madagaskar	US	Vereinigte Staaten von Amerika
FI	Finnland	ML	Mali	UZ	Usbekistan
FR	Frankreich	MN	Mongolei	VN	Vietnam

VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR QUANTITATIVEN BESTIMMUNG DER TEXTUR DER MENSCHLICHEN HAUTOBERFLÄCHE.

Verfahren und Vorrichtung zur meßtechnischen quantitativen Bestimmung der Textur der menschlichen Hautoberfläche durch Registrierung, Wiedergabe und Analysierung von Bildinformationen

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur quantitativen Bestimmung der Textur der menschlichen Hautoberfläche sowie eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

Zur qualitativen Analyse der Struktur der menschlichen Hautoberfläche in Medizin und Kosmetik werden seit zwei Jahrzehnten Rauheitsparameter herangezogen, wie sie beispielsweise in DIN 4762 oder auch in ISO 4287/1 festgelegt sind. Da im allgemeinen *in vivo* Methoden bei der Oberflächenmeßtechnik ausscheiden, wird stellvertretend ein Replicat vermessen. Die Vermessung selbst erfolgt durch tastende Verfahren, wobei mechanische und optische Verfahren zum Einsatz kommen.

Bei einem bekannten mechanischen Verfahren zur Bestimmung der Kenngrößen für das Stratum Corneum wird

mit einem elektrischen Tastschnittgerät in einzelnen Senkrechtschnitten das Oberflächenprofil von Replicas der Hautoberfläche mit einer Tastspitze abgetastet. Dabei werden die gegenüber einer Bezugslinie erhaltenen Profilabweichungen einem Auswertrechner zugeführt.

Dieser kann aus den Meßgrößen eine Bestimmung von in der dermatologischen Forschung häufig angewandten Kennwerten wie

dem arithmetischen Mittenrauhwert  $R_a$ ,  
dem quadratischen Mittenrauhwert  $R_q$  und  
der maximalen Rauhtiefe  $R_{max}$

durchführen. In verschiedenen Untersuchungen konnte anhand der Vermessung einzelner Profilschnitte von Replicas der Hautoberfläche und der anschließenden Bestimmung von Rauheitsparametern beispielsweise die hautglättende Wirksamkeit von Kosmetika gezeigt, der Einfluß von Alterung und Krankheit auf die Rauheitskenngrößen der Haut nachgewiesen und die Charakterisierung von trockener Haut durchgeführt werden.

Diese bekannte Methode ist allgemein in DIN 4768 beschrieben und bezüglich der Anwendung auf die menschliche Haut - speziell im Hinblick auf die Erkennung von Anisotropie - in der deutschen Patentschrift 27 19 341 niedergelegt.

Typisch für eine solche mikrotopographische Vermessung mit einem elektrischen Tastschnittgerät ist, daß nur einzelne Profilschnitte ausgewertet werden, also lediglich eine linienhafte und keine flächenhafte Information vorliegt.

In einigen neueren Arbeiten wurden auch bereits eine Vielzahl paralleler Profilschnitte vermessen, um einen verbesserten dreidimensionalen Eindruck des Hautreliefs zu ermitteln. Wegen des hierbei mit mechanischem Abtasten verbundenen hohen Zeitaufwandes wurde in jüngster Zeit auch erstmals die Laser-Profilometrie eingesetzt. Doch auch in diesem Fall ist die für eine genaue 3D-Vermessung eines Hautareals eine nicht unbeträchtliche Meßzeit zu veranschlagen. Zudem erfolgt bei diesem Verfahren bisher eine Auswertung lediglich auf der Grundlage der für einzelne Profilschnitte definierten Rauheitskenngrößen, in denen schon definitionsgemäß keine Informationen über die Hauttextur enthalten ist.

Auch bildanalytische Verfahren wurden bereits vereinzelt zur Beschreibung der menschlichen Haut herangezogen, wobei Grauwertbilder von Replikaten als Grundlage für sich anschließende Auswertverfahren dienten. Insbesondere Corcuff (Corcuff, P.; de Rigal, J.; Leveque, J.L.: Skin Relief and Aging; Journal of the Society of Cosmetic Chemists 34; 177-190; 7/1983) entwickelte eine Methode, um die mechanische Rauheitsmessung zu substituieren. Die Methode basiert auf der Tatsache, daß bei Beleuchtung eines Replikats unter einem definierten Beleuchtungswinkel aus der Länge des Schattenwurfes der Profilkuppen eine Höheninformation aus den Grauwertbildern errechnet werden kann. Eine signifikante Korrelation zwischen bildanalytischen und profilmetrischen Rauheitsgrößen konnte allerdings bisher nicht gezeigt werden. Auch bestand keine Veranlassung die in den Grauwertbildern enthaltene Information über die Hautfelderung bei diesem bildverarbeitenden Verfahren zu einer weitergehenden Analyse zu nutzen, da die Auswertung an Hand von Binärbildern, also von Bildern, die lediglich

die Werte Schwarz und Weiß annehmen können, erfolgte. Eine weitergehende Analyse wurde daher nicht genutzt.

Aus den genannten bekannten Meßmethoden resultieren somit Parameter (irgendwelche integrale Mittelwerte), welche grundsätzlich nicht in der Lage sind, eine punktuelle Beschreibung eines festen Meßortes auf einer Hautoberfläche vorzunehmen, d.h. sie scheiden zur Texturerkennung und Texturbeschreibung grundsätzlich aus.

Keine Informationen kann auch das in dem deutschen Patent 34 33 195 beschriebenen bildanalytische Verfahren liefern, in welchem die Tiefe der Hautfalten sowie des Sulcus cutis unter Verwendung einer Videokamera bestimmt werden. Denn das von dem opto-elektronischen Wandler erzeugte Videosignal der zu beurteilenden Oberfläche wird durch Wahl geeigneter Schwellen binärisiert.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, das eingangs genannte Verfahren von Corcuff weiterzuentwickeln, um Rauheitskenngrößen bei der bildanalytischen Mikrotopographie der Hautoberfläche zu ermitteln, welche die flächige Ausdehnung des Stratum Corneums berücksichtigen.

Zur Lösung dieser Aufgabe wird ein Verfahren vorgeschlagen, welches durch den Inhalt der Ansprüche gekennzeichnet ist. Der Inhalt der Ansprüche ist auch Teil dieser Beschreibung.

Bei der Betrachtung sowohl von natürlichen Bildszenen als auch von Grauwertbildern vermag das menschliche Auge bestimmte Bereiche, die verschiedene Strukturen und Muster enthalten, zu erkennen. Auch die menschliche

Hautoberfläche mit ihrer charakteristischen Felderung weist eine solche mehr oder weniger stark ausgeprägte Strukturierung auf. Das Auftreten solcher Muster wird im allgemeinen als Textur bezeichnet. Im folgenden wird daher als wesentliche Eigenschaft einer Textur innerhalb eines Bildes die Wiederholung von kleinen Bereichen, die eine bestimmte Struktur beinhalten, verstanden.

Die Weiterbildung der Erfindung geht von einer Texturanalyse aus, bei welcher man sich wiederum der Grauwertbilder der Haut oder der Replicas von der menschlichen Hautoberfläche bedient, wobei allerdings wiederum lediglich Binärbilder ausgewertet und damit einige wenige Texturkenngrößen bestimmt werden. Die erfindungsgemäßen Schritte a) und b) hingegen liefern Kenngrößen und Parameter, welche Aufschluß über die Zusammenhänge und Abhängigkeiten, die zwischen benachbarten Grauwerten oder auch Grauwertregionen bestehen liefern. Sie basieren im wesentlichen auf der Entwicklung der in der Erfindung dargestellten Methoden der Texturanalyse der menschlichen Haut, der Bestimmung der Parameter der Co-Occurrence-Matrix(9) und der Run-Length-Matrix(10).

#### Herstellung der Grauwertbilder

Die im folgenden untersuchten Grauwertbilder sind von der Haut oder Replicas (Material: Silikonkautschukmasse Silflo (R) des Herstellers Flexico, zur Kontrastanreicherung vermischt mit feinstem Eisenpulver) der menschlichen Haut über ein Mikroskop und eine CCD-Kamera aufgenommen. Die Replica wird dabei von einer Kaltlichtquelle beleuchtet, wobei die Position der Lichtquelle gegenüber der Replica gemäß

Abbildung 1 festgelegt ist. Als  $\alpha$ , dem Lichteinfallswinkel, ist, ausgehend von der Replicamitte, der Winkel zwischen der Horizontalebene und der Beleuchtungsquelle definiert; mit  $\beta$ , dem Beleuchtungswinkel, wird der Winkel zwischen einer gewählten Bezugslinie in der Horizontalebene und der Projektion der Beleuchtungsquelle auf diese bezeichnet. Über ein Bildverarbeitungssystem werden die Grauwertbilder der Replicas der menschlichen Hautoberfläche oder Haut einem Auswerterechner zugeführt und in einer quadratischen Matrix  $G = [g(i_z, i_s)]$ , mit dem Laufindizes  $i_z$  in Zeilen- bzw.  $i_s$  in Spaltenrichtung, abgelegt.

$$G = [g(i_z, i_s)] \\ = \begin{bmatrix} g(0,0) & \dots & g(0, N-1) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ g(N-1,0) & \dots & g(N-1, N-1) \end{bmatrix} \quad (1)$$

Das Format der Matrix beträgt  $(N, N)$ . Die Matrixelemente  $g(i_z, i_s)$  sind dabei die quantisierten Grauwerte  $g_w$  der  $N^2$  Bildpunkte. Typischerweise werden in der digitalen Bildverarbeitung 256 verschiedene Grauwertstufen verwendet, d.h. die Grauwerte liegen im Intervall  $[0, N_g]$ .  $N_g$  bezeichnet dabei den maximal auftretenden Grauwert. Der Grauwert  $g_w = 0$  wird als Schwarz, der Grauwert  $g_w = 255$  als Weiß interpretiert.

Eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur Herstellung der Grauwertbilder und zur Bestimmung der Hauttextur ist in

der Abbildung 1 beschrieben und besteht aus einer Kaltlichtquelle zur Beleuchtung der Probe (Haut, Replica), einem Mikroskop und einer C'C'D-Kamera zur Aufnahme der Grauwertbilder und einem Bildverarbeitungssystem und einen Auswerterechner für die Grauwertbilder. Die Geräte sind im Handel erhältlich.

### Statistische Kennwerte

Aus der Statistik sind verschiedene Parameter bekannt, die in allgemeiner Form auf die vorliegenden zweidimensionalen und diskreten Bildvorlagen angewendet werden können. Ausgehend von den Definitionen für die Momente einer Verteilung können diese Kenntwerte für ein Grauwertbild der Hautoberfläche bestimmt werden:

Nullmomente n-ter Ordnung:

(2)

$$\alpha_n = \frac{1}{N^2} \sum_{i_z=0}^{N-1} \sum_{i_s=0}^{N-1} g(i_z, i_s)^n \quad ; \quad n = 1, 2, \dots$$

Zentralmomente n-ter Ordnung:

(3)

$$\mu_n = \frac{1}{N^2} \sum_{i_z=0}^{N-1} \sum_{i_s=0}^{N-1} [g(i_z, i_s) - \alpha_1]^n \quad ; \quad n = 1, 2, \dots$$

Folgende statistische Kennwerte werden zur Charakterisierung von Verteilungen genutzt:

$$\text{Mittelwert: } m_{g_w} = \alpha_1, \quad (4)$$

$$\text{Varianz: } \sigma^2 = \mu_2, \quad (5)$$

$$\text{Schiefe: } \gamma_1 = \frac{\mu_3}{\sigma^3}, \quad (6)$$

$$\text{Exzeß: } \gamma_2 = \frac{\mu_4}{\sigma^4} - 3. \quad (7)$$

Wie schon an der Definition dieser Kenngrößen ersichtlich wird, ist hieraus keinerlei Information über die Zuordnung einzelner Bildpunkte zueinander in der Bildebene abzulesen, so wie es die im folgenden vorgestellten Parameter ermöglichen. So wie auch die Anwendung der nur für einzelne Profilschnitte definierten Rauheitsparameter für ein 3D-Relief nur eine begrenzte Aussagefähigkeit über die Struktur einer Oberfläche liefert, erhält man mit der Verwendung dieser statistischen Kennwerte noch keine Aussagen über Zuordnungen einzelner Grauwerte zueinander in der Fläche. Sie sind lediglich gut geeignet, um einen Eindruck über die Verteilung aller im Bild vorkommenden Grauwerte zu liefern.

Derartige, statistisch ermittelten Parameter sind daher nicht zur Definition der flächigen Ausdehnung des Stratum Corneums geeignet, da sie nur Aussagen über die Grauwertwertverteilung machen. Zur Ermittlung der gesamten Textur bedarf es daher weiterer, erfindungsgemäßer Kenngrößen, wie sie von der sog. Co-Occurrence-Matrix (a) und der Run-Length-Matrix geliefert werden.

### Kennwerte der Co-Occurrence-Matrix

Bei der erfindungsgemäßen Bestimmung der Kenngrößen der Co-Occurrence-Matrix werden die Zusammenhänge, die zwischen dem einzelnen Punkt einer Textur und seiner Umgebung bestehen, verwendet, um beschreibende Parameter der Textur herauszufiltern. Haralick erarbeitete Grundzüge dieses Verfahrens und wandte es auf ein Problem der Auswertung von Luftbildaufnahmen an (Haralick, R.M.; Shanuga, K.; Dinstein, I.: Texture Features for Image Classification; IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics 3; 610-621; 1979).

Inhalt der Untersuchung mit Hilfe der Co-Occurrence-Matrix ist der Grauwertübergang. Darunter wird die Kombination verstanden, die durch zwei Bildpunkte innerhalb einer Grauwertmatrix gebildet wird. Anhand der Sequenz [00012] soll dieses verdeutlicht werden. Es treten dabei als Grauwertübergänge zum rechten Nachbar die Kombinationen [0,0] zweimal und die Kombinationen [0,1] und [1,2] jeweils einmal auf. Die Co-Occurrence-Matrix  $C_{\phi,1}$  beinhaltet nun die Anzahl aller Kombinationen der Grauwertübergänge zwischen zwei Bildpunkten der Grauwertmatrix G. Die einzelnen Elemente  $c_{\phi,1}(i, j)$  der Co-Occurrence-Matrix werden dann wie folgt errechnet:

Der Grauwert  $g_{w1}$  eines ersten Bildpunktes der Grauwertmatrix sei i, der Grauwert  $g_{w2}$  eines anderen Bildpunktes der Grauwertmatrix sei j. Das Matrixelement  $c_{\phi,1}(i, j)$  beinhaltet die Anzahl der Grauwertkombinationen [i,j], die in G auftreten. Die Lagebeziehung, die zwischen den beiden untersuchten

Bildpunkten besteht wird durch die Indizes  $\phi$  und  $i$  der Co-Occurrence Matrix  $C_{\phi,1}$  ausgedrückt. Der Verschiebungswinkel  $\phi$  ist der Winkel, der zwischen der Verbindung der beiden betrachteten Bildpunkte und der Spaltenrichtung in der Grauwertmatrix  $G$  liegt. Dabei werden vier Richtungen der quadratischen Grauwertmatrix betrachtet: Zeilen- und Spaltenrichtung und die beiden Diagonalrichtungen. Die Verschiebungslänge  $l$  bezeichnet den Abstand, der zwischen den Bildpunkten liegt.

Betrachtet man nun ein Grauwertbild, das mit 256 Grauwertstufen gebildet wird, so wird die Co-Occurrence-Matrix das Format (256,256) besitzen. Um den Rechenaufwand so gering wie möglich zu halten, werden daher die Grauwerte neu quantisiert. Üblich ist dabei eine Reduzierung auf 32 oder 64 Grauwerte, so daß die dann entstehenden Co-Occurrence-Matrizen das Format (32,32) bzw. (64,64) besitzen.

Ein Bild mit einer großflächigen, kontrastarmen Struktur erzeugt eine Co-Occurrence-Matrix, deren Elemente stark entlang der Hauptdiagonalen ausgerichtet sind. Eine feine, kontrastreiche Struktur bewirkt dagegen eine weite Verteilung der Elemente in der Co-Occurrence-Matrix.

Aus der gebildeten Co-Occurrence-Matrix kann man nun verschiedene Kennwerte berechnen, die Rückschlüsse auf die Art der Textur, z.B. grob oder fein, erlauben oder auch Ausrichtungen einer Textur erkennen lassen und so eine Unterscheidung der einzelnen Texturen ermöglichen. Im folgenden sollen die Kennwerte kurz vorgestellt werden, die im weiteren zur Untersuchung der Grauwertbilder der menschlichen Haut herangezogen werden. Die Elemente der Co-Occurrence-Matrix werden

dabei zunächst durch die Summe aller Eintragungen in der Matrix normiert.

Dabei beinhaltet das Element  $c(i,j)$  von  $C_{\phi,1}$  die Anzahl der Grauwertkombinationen  $[i,j]$ , die in  $G$  auftreten.

**Kontrast:**

$$C_{CON} = \sum_{i=0}^{N_g} \sum_{j=0}^{N_g} (i - j)^2 \cdot c(i,j) \quad . \quad (8)$$

Der Kontrast ist ein Maß für die Variation von Grauwerten in einem Bild. Für ein kontrastarmes Bild wird also ein kleinerer Wert errechnet als für ein Bild mit vielen Grauwertänderungen. Es werden die Elemente der Co-Occurrence-Matrix stärker betont, die weiter entfernt von der Hauptachse liegen.

**Entropie:**

$$C_{ENT} = - \sum_{i=0}^{N_g} \sum_{j=0}^{N_g} c(i,j) \cdot \log_{10}[c(i,j)] \quad . \quad (9)$$

Das Verhalten dieses Kennwertes ähnelt dem des Kontrastes, d.h. für ein homogenes Bild wird ein geringerer Entropiewert errechnet als für ein feinstrukturiertes.

Zweites Winkelmoment:

$$C_{ASM} = \sum_{i=0}^{N_g} \sum_{j=0}^{N_g} [c(i, j)]^2 \quad . \quad (10)$$

Dieser Kennwert ist ein Maß für die Homogenität eines Bildes. So wird für ein homogenes Bild ein größerer Kennwert errechnet als für ein inhomogenes Bild.

Korrelation:

$$c_{\text{KOR}} = \frac{\sum_{i=0}^{N_g} \sum_{j=0}^{N_g} \left( i - \sum_{i=0}^{N_g} i \cdot \sum_{j=0}^{N_g} c(i, j) \right) \cdot \left( j - \sum_{j=0}^{N_g} j \cdot \sum_{i=0}^{N_g} c(i, j) \right) \cdot c(i, j)}{\left[ \sum_{i=0}^{N_g} \left( i - \sum_{i=0}^{N_g} i \cdot \sum_{j=0}^{N_g} c(i, j) \right)^2 \cdot \sum_{j=0}^{N_g} c(i, j) \right] \cdot \left[ \sum_{j=0}^{N_g} \left( j - \sum_{j=0}^{N_g} j \cdot \sum_{i=0}^{N_g} c(i, j) \right)^2 \cdot \sum_{i=0}^{N_g} c(i, j) \right]}$$
(11)

Die Korrelation ist ein Maß für die Abhängigkeit der Zeilen und Spalten der Co-Occurrence-Matrix untereinander. Ein inhomogenes Bild besitzt demnach eine kleine Korrelation.

#### Kennwerte der Run-Length-Matrix

Eine Möglichkeit, Kennwerte von Grauwertbildern aufgrund der Zusammenhänge und Abhängigkeiten, die zwischen einzelnen Bildpunkten bestehen, zu berechnen, stellen die Kennwerte der Run-Length-Matrix dar. Erste Ansätze zu dieser Methode wurden durch Galloway (Galloway, M.M.: Texture Analysis Using Gray Level Run Matrices; Computer Graphics and Image Processing 4, 172-179, 1975) vorgestellt.

Untersucht wird in dem Verfahren die Grauwertmatrix  $G$  nach den Lauflängen eines Grauwertes. Dabei wird die Anzahl an aufeinanderfolgenden Bildpunkten, die innerhalb einer Untersuchungsrichtung denselben Grauwert besitzen, als Lauflänge  $l_g$  verstanden. An der Sequenz [2223322] soll dieses kurz verdeutlicht werden. Für den Grauwert  $g_w = 2$  erhält man einmal die Lauflänge  $l_g = 3$  und einmal die Lauflänge  $l_g = 2$ , der Grauwert  $g_w = 3$  tritt hier mit der Lauflänge  $l_g = 2$  auf.

Die Elemente  $r_\phi(g_w, l_g)$  der Run-Length-Matrix  $R_\phi$  für eine Grauwertmatrix  $G$  beinhalten dann die Anzahl, mit der ein Grauwert  $g_w$  mit der Lauflänge  $l_g$  auftritt. Der Index  $\phi$  gibt hier die Untersuchungsrichtung an, in der die einzelnen Lauflängen bestimmt werden sollen. Wie auch schon bei der Co-Occurrence-Matrix werden zur Hautanalyse die Zeilen-, Spalten- sowie die beiden Diagonalrichtungen der Grauwertmatrix untersucht.

Für  $N_g$  verschiedene Grauwertstufen und eine Grauwertmatrix des Formats  $(N, N)$  ergibt sich für die Run-Length-Matrix  $R_\phi$  als maximale Größe  $N_g \times N$ . Daher werden, in der Regel auch hier die Grauwerte neuquantisiert, so daß nur noch 32 oder 64 verschiedene Grauwertstufen zur Berechnung dieser Matrizen verwendet werden.

Ein homogenes Bild wird große Elemente  $r_\phi(g_w, l_g)$  weit rechts besitzen, dagegen wird die Run-Length-Matrix eines inhomogenen Bildes, das nur sehr kleine Lauflängen  $l_g$  besitzt, als 'linkslastig' erscheinen. Eine entlang einer Untersuchungsrichtung linienförmig ausgerichtete Textur wird in den langen Lauflängen große Matrixelemente aufweisen, dagegen wird die senkrecht zu dieser Ausrichtung durchgeführte Lauflängenuntersuchung für die kurzen Lauflängen große Elemente besitzen. So kann aufgrund dieser Analysemethode die Ausrichtung einer Textur erkannt werden.

Auch hier werden Kennwerte berechnet, die eine weitere Unterscheidung zwischen verschiedenen Texturen ermöglichen. Im weiteren werden die neu in der Hautoberflächenanalyse verwendeten Kennwerte kurz vorgestellt. Dabei bezeichnet  $N_l$  die maximal auftretende Lauflänge in der Matrix  $R_\phi$ .

Short Run Emphasis:

$$R_{SRE} = \frac{\sum_{g_w=0}^{N_g} \sum_{l_g=1}^{N_l} \frac{r_\phi(g_w, l_g)}{l_g^2}}{\sum_{g_w=0}^{N_g} \sum_{l_g=1}^{N_l} r_\phi(g_w, l_g)} \quad . \quad (12)$$

Mit diesem Kennwert werden die kurzen Lauflängen betont. Dadurch werden für feinstrukturierte Grauwertbilder größere Kennwerte errechnet als für grobflächige.

Long Run Emphasis:

$$R_{LRE} = \frac{\sum_{g_w=0}^{N_g} \sum_{l_g=1}^{N_l} r_\phi(g_w, l_g) \cdot l_g^2}{\sum_{g_w=0}^{N_g} \sum_{l_g=1}^{N_l} r_\phi(g_w, l_g)} . \quad (13)$$

Dieser Kennwert verhält sich genau umgekehrt zur Short Run Emphasis. Ein grobflächiges Bild erhält einen größeren Kennwert als ein feinstrukturiertes.

Gerade der Vergleich dieser beiden Kennwerte in verschiedenen Untersuchungsrichtungen ermöglicht es, eine bevorzugte Ausrichtung der Textur zu erkennen.

Graylevel Nonuniformity:

$$R_{GLN} = \frac{\sum_{g_w=0}^{N_g} \left( \sum_{l_g=1}^{N_l} r_\phi(g_w, l_g) \right)^2}{\sum_{g_w=0}^{N_g} \sum_{l_g=1}^{N_l} r_\phi(g_w, l_g)} . \quad (14)$$

Bei einer gleichmäßigen Verteilung der Lauflängen über alle Grauwerte wird der kleinste Wert errechnet. Durch hohe Lauflängenwerte wird der Wert des Parameters groß.

Runlength Nonuniformity:

$$R_{RLN} = \frac{\sum_{l_g=1}^{N_l} \left( \sum_{g_w=0}^{N_g} r_\phi(g_w, l_g) \right)^2}{\sum_{g_w=0}^{N_g} \sum_{l_g=1}^{N_l} r_\phi(g_w, l_g)} \quad (15)$$

Hier wird bei einer gleichmäßigen Verteilung der Grauwerte über die Lauflängen der Wert dieses Parameters minimal.

#### Einfluß des Beleuchtungswinkels $\beta$

Untersucht wurde zunächst, inwieweit die Texturparameter der menschlichen Haut abhängig sind vom Beleuchtungswinkel  $\beta$ , da eine solche Abhängigkeit für die Positionierung der Replicas unter dem Mikroskop von Bedeutung ist. Aufgenommen wurden hierzu in 5°-Schritten von  $\beta = 0^\circ$  bis  $\beta = 360^\circ$  Grauwertbilder von Haut oder einer Replica, die vom volaren Unterarm eines 25jährigen, männlichen Probanden mit gesunder Haut erstellt wurde. Die Haut des volaren Unterarmes weist bereits bei der Betrachtung mit dem bloßen Auge eine ausgeprägte Hauptfaltenrichtung auf. Von Interesse sind nun die Fragestellungen:

In welchem Wertebereich bewegen sich die Parameter typischerweise für verschiedene Beleuchtungswinkel  $\beta$ ?

Sind Vorzugsrichtungen wie die deutlich sichtbare Hauptfaltenrichtung mittels der Texturparameter detektierbar?

Für die Untersuchung wurde der Lichteinfallswinkel  $\alpha$  dabei auf konstant  $\alpha = 28^\circ$  eingestellt. Für  $\beta = 0^\circ$  wurde die Replica, deren Grauwertbild für diese Beleuchtungsrichtung in Abbildung 2 dargestellt ist, senkrecht zur deutlich erkennbaren Hauptfaltenrichtung ausgerichtet. Zur Bestimmung der Texturparameter wurden  $256 \times 256$  Grauwerte große Bildausschnitte, die eine Größe von  $5.12 \times 5.12 \text{ mm}^2$  besaßen, ausgewertet.

Exemplarisch für verschiedene Lauflängen und Untersuchungsrichtungen sind in Abbildung 3 die Parameter der Co-Occurrence-Matrix  $C_{\phi,1} = C_{90^\circ,1}$  sowie einige Kennwerte der Run-Length-Matrix  $R_o = R_{90^\circ}$  über der Beleuchtungsrichtung  $\beta = 0^\circ$  bis  $\beta = 360^\circ$  aufgetragen, da für diesen Verschiebungswinkel  $\phi$  und diese Verschieungslänge 1 der Verlauf der Texturparameter besonders prägnant ist. Zu erkennen ist eine in allen Parametern deutliche Abhängigkeit von der Beleuchtungsrichtung. Der nicht in Abbildung 3 dargestellte Parameter Run Percentage  $R_{RP}$  verhält sich dabei ähnlich wie die Short Run Emphasis  $R_{SRE}$ , die Gray Level Nonuniformity  $R_{GLN}$  wie die Run Length Nonuniformity  $R_{RLN}$ . Sehr gut wird eine mehr oder weniger stark ausgeprägte Periodizität der Texturparameter sichtbar, wobei Extremwerte der Texturkenngrößen je nach ihrer Definition durchweg bei  $\beta = 0^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ$ , also entweder bei Beleuchtung senkrecht zur Hauptfaltenrichtung oder aber in Hauptfaltenrichtung auftraten. Eine Vorzugsrichtung ist demnach anhand einer Änderung der Beleuchtungsrichtung mit allen Texturparametern einfach quantifizierbar.

Anhand eines Parameters, dem Kontrast  $C_{CON}$ , soll dies exemplarisch verdeutlicht werden. Für den Beleuchtungswinkel  $\beta = 0^\circ$ , also senkrecht zur Hauptfaltenrichtung, weist  $C_{CON}$  in Richtung  $\phi = 90^\circ$ , d.h. parallel zur Hauptfaltenrichtung, ein Minimum auf. Geht man in dieser Untersuchungsrichtung, also entlang der Hauptfaltenrichtung vor, so werden die Grauwertübergänge in der Co-Occurrence-Matrix  $C_{90^\circ,1}$  durch eine Vielzahl von Kombinationen gleicher oder nahe beieinanderliegender Grauwerte geprägt, wie man anhand von Abbildung 2 unschwer nachvollziehen kann. Die Elemente der Co-Occurrence-Matrix liegen demnach eng um deren Hauptdiagonale, der Parameter Kontrast  $C_{CON}$  wird ergo klein, da gemäß der Definitionsgleichung (8) der Abstand zur Hauptdiagonalen quadratisch in diese Kenngröße eingeht. Im Gegensatz dazu werden bei Beleuchtung aus der Richtung  $\beta = 90^\circ$ , also entlang der Hauptfaltenrichtung, auch kleinere Hautunebenheiten in Faltenrichtung hervorgehoben; die Grauwertübergänge enthalten dann mehr Kombinationen auch weiter auseinanderliegender Grauwerte. Damit ist die Co-Occurrence-Matrix entlang der Hauptdiagonalen in einem breiteren Band belegt und der Kontrast  $C_{CON}$  erreicht für Beleuchtung in Hauptfaltenrichtung  $\beta = 90^\circ$  für den Verschiebungswinkel  $\phi = 90^\circ$  ein Maximum.

Für die weiteren Untersuchungen wurden alle Replicas mit einer Marke versehen, die die Ausrichtung der Replica zur Körperachse festlegt, da anhand von Abbildung 3 deutlich erkennbar ist, daß alle Texturparameter bei Variation des Beleuchtungswinkels  $\beta$  einen mehr oder weniger großen Wertebereich überstreichen. Anhand dieser Marke wurden dann die Replicas unter dem Mikroskop ausgerichtet.

### Charakterisierung der Hautoberfläche verschiedener Körperpartien

Weiter ermittelt wurden nun Texturparameter von acht verschiedenen Hautarealen eines 24jährigen, männlichen Probanden mit gesunder Haut, wobei Abdrücke gemäß Abbildung 4 an folgenden acht Stellen genommen werden:

- a. Gesicht (sogenannte Krähenfüße im Bereich der Schläfen),
- b. Nacken,
- c. Oberarm,
- d. Unterarm, volar,
- e. Abdomen,
- f. Lumbalregion,
- g. Oberschenkel, ventral,
- h. Unterschenkel, dorsal.

Die typische, teilweise sich stark unterscheidende Hautstruktur dieser einzelnen Hautareale ist ebenfalls in Abbildung 4 dokumentiert. Die Replicas wurden in einer Größe (ca.  $10 \text{ cm}^2$ ) erstellt, daß eine Auswertung an jeweils sechs unterschiedlichen Meßfeldern auf ihnen erfolgen konnte. Aus diesen Meßfeldern wurden die Texturparameter bestimmt, aus den so erhaltenen Kenngrößen wurden dann jeweils der Mittelwert sowie der größte und der kleinste vorkommende Wert der Texturparameter einer jeden Körperpartie bestimmt.

Einige besonders aussagekräftige Texturkenngrößen sollen im folgenden diskutiert werden. Dargestellt für die acht Hautpartien sind in Abbildung 5 als Balkendiagramme

- von den statistischen Kennwerten der Mittelwert  $M_{gw}$  und der Exzeß  $\gamma_2$  der Grauwertverteilung,

- von den Parametern der Co-Occurrence-Matrix  $G_{0^\circ, 1}$ , die Kenngrößen Zweites Winkelmoment  $C_{ASM}$ , Korrelation und Kontrast als nicht ausgefüllte Balken zusätzlich sind einige Parameter der Co-Occurrence-Matrix  $G_{135^\circ, 1}$  als ausgefüllte und der Matrix  $G_{90^\circ, 1}$  als gepunktete Balken aufgetragen,
- von den Parametern der Run-Length-Matrix  $R_0$ , die Kenngrößen Short Run Emphasis  $R_{SRE}$ , Long Run Emphasis  $R_{LRE}$  und Run Length Nonuniformity  $R_{RLN}$ .

Aufgetragen ist in Abbildung 5 als Balken das Band, in dem die an sechs verschiedenen Meßfeldern eines Hautareals ermittelte jeweilige Kenngröße liegt. Der Mittelwert dieser sechs Werte ist durch einen horizontalen Strich durch den Balken gekennzeichnet.

Für einen Betrachter ist es anhand der acht verschiedenen Grauwertbilder in Abbildung 4 möglich, eine Unterscheidung der Hautareale durchzuführen, obwohl die Rauheitsparameter der betrachteten Hautpartien teilweise sehr dicht beieinander liegen. Die Texturparameter lassen im Gegensatz zu den Rauheitskenngrößen eine verhältnismäßig einfache Klassifizierung der einzelnen Hautareale zu.

Schon die Auswertung der statistischen Kennwerte in Abbildung 5 läßt erkennen, daß die einzelnen Hautareale mit diesen Parametern grob zu unterscheiden sind. Der mittlere Grauwert  $m_{gw}$  der Grauwertverteilung weist in den einzelnen Hautarealen erhebliche Unterschiede auf. Dies ist auf die unterschiedlich starke Ausprägung der Hautfalten, die wiederum eine mehr oder weniger starke Schattierung durch die Beleuchtung bewirkt, zurückzuführen. Ungünstig für eine Charakterisierung

unterschiedlicher Hautareale ist allerdings, daß das Band, in dem sich die sechs Kennwerte einer Hautpartie befinden, teilweise recht groß ist. Der Exzeß der Grauwertverteilung ist für eine Unterscheidung der Hautareale hingegen der von den statistischen Kennwerten bestgeeignete Parameter, da hier überwiegend ein sehr schmales Band der sechs Kennwerte vorliegt. Für die Wertebereiche einiger Hautareale, beispielsweise bei Nacken und Abdomen oder bei Ober- und Unterschenkel reichen die statistischen Kennwerte zur Unterscheidung der Hautareale noch nicht aus. Hier ist eine erfindungsgemäße weitere Information aus den Kennwerten der Co-Occurrence-Matrix und der Run-Length-Matrix für eine Klassifizierung erforderlich.

Anhand der Parameter der Co-Occurrence-Matrix  $C_{0^\circ,1}$  lassen sich direkt Unterscheidungen für fast alle betrachteten Hautareale erstellen. Beispielsweise lassen sich schon allein mittels des Kontrastes  $C_{CON}$  die Bereiche Oberarm, Unterschenkel, Unterschenkel und Lumbalregion sicher detektieren. Für die Bereiche Unter- und Oberschenkel sowie für den Oberarm erhält man kleine Werte dieser Kenngröße. Hier wird eine durch wenig tiefe Falten ausgewiesene Struktur herausgefunden. Ein starker Kontrast bestimmt hingegen in der Richtung  $\phi = 0^\circ$  die Bilder von Nacken und Abdomen, da die Hautfaltenrichtung senkrecht zu dieser Richtung liegt; für  $\phi = 90^\circ$  ist der Kontrast bei diesen beiden Hautarealen daher deutlich geringer ausgeprägt, in Abbildung 5 als gepunkteter Balken dargestellt.

Zieht man die Information aus dem Zweiten Winkelmoment  $C_{ASM}$  zusätzlich hinzu, so ist bis auf die Unterscheidung zwischen Gesicht und Unterarm sowie Nacken und Abdomen, die jeweils ähnliche

Kenngrößenbereiche umfassen, eine weitgehende Klassifizierung der Hautareale möglich. Für die letztgenannten Kombinationen ist die dargestellte Information aus einem Verschiebungswinkel  $\phi$  und einer Verschiebungslänge  $l$  nicht ausreichend. Wertet man aber eine weitere Verschiebungslänge aus, wie in Abbildung 5 beim Kontrast für  $\phi = 135^\circ$  als ausgefüllte Balken bei einigen Hautarealen dargestellt, so ist anhand dessen eine vollständige Klassifizierung aller Hautareale anhand der verwendeten Co-Occurrence-Parameter gegeben.

Gleiche Tendenzen wie der Kontrast weist die nicht dargestellte Entropie auf; die jeweils sechs Werte sind aber in einem etwas schmaleren Band zu finden, können also ebenfalls sinnvoll zur Unterscheidung der einzelnen Hautareale eingesetzt werden. Die Korrelation zeigt für  $\phi = 0^\circ$  für die einzelnen Hautareale keine sehr starken Unterschiede; für andere Verschiebungswinkel  $\phi$  werden aber deutlichere Differenzierungen möglich.

Auch die Kenngrößen der Run-Length-Matrix können sinnvoll zur Charakterisierung der Hautoberfläche herangezogen werden. Short Run Emphasis  $R_{SRE}$  und Long Emphasis  $R_{LRE}$  bewegen sich gegenläufig, wie es definitionsgemäß zu erwarten war. Insbesondere die Short Run Emphasis liegt mit ihren sechs Werten aus den verschiedenen Meßfeldern immer in einem sehr schmalen Band und grenzt so einzelne Hautareale gut ab. Eine gleichartige Tendenz wie die Short Run Emphasis weist die Run Percentage auf. Die Run Length Nonuniformity  $R_{RLB}$  zeigt bei den Replicas von Nacken und Abdomen in Richtung  $\phi = 0^\circ$  ganz charakteristisch größte Werte an, d.h., senkrecht zur Hauptfaltenrichtung besitzt kein Grauwert eine ausgeprägt hohe Lauflänge. Diese Kenngröße zeigt demnach ein sowohl dem Co-Occurrence-Parameter  $C_{CON}$  als auch der nicht

dargestellten Gray Level Nonuniformity  $R_{GLN}$  umgekehrt proportionales Verhalten. Die Run Percentage  $R_{RP}$  verläuft ähnlich wie  $R_{RLN}$ .

Nachdem für die acht Hautareale eine Charakterisierung anhand der Texturparameter vorgenommen werden konnte, ist es möglich, umgekehrt auch eine Klassifikation der verschiedenen Hautareale vorzunehmen, also aus einem beliebigen Hautareal einen Satz von Texturparametern zu bestimmen und dann damit das Hautareal einer Körperpartie zuzuordnen. Dieses erscheint insbesondere im Hinblick auf die Einordnung von Krankheitsbildern der menschlichen Haut von Interesse.

#### Untersuchung des Effektes kosmetischer Behandlung

Die Beeinflussung der menschlichen Haut durch Kosmetika konnte von verschiedenen Autoren anhand von Rauheitskenngrößen nachgewiesen werden. Es wurde anhand einer vergleichenden Untersuchung zwischen Profilometrie und Texturanalyse untersucht, ob eine Applikation von Kosmetika auf die Haut anhand der Texturparameter gezeigt werden kann. Hierzu wurden von einer 25jährigen Probandin 3 Wochen lang täglich Replicas vom Oberschenkel oberhalb des rechten Knies erstellt und sowohl profilometrisch als auch texturanalytisch ausgewertet. Während der ersten sieben Tage fand keine kosmetische Behandlung statt; die darauffolgenden 15 Tage wurde die Haut täglich mit der handelsüblichen W/O-Creme pH5-Eucerin<sup>(R)</sup> (Hersteller: Beiersdorf AG, Hamburg) behandelt.

Zur laserprofilometrischen Vermessung, vgl. auch Saur (Saur, R.; Schramm, U.; Steinhoff, R.; Wolff, H.H.: Strukturanalyse der Hautoberfläche durch computergestützte Laser-Profilometrie; Der Hautarzt 42;

499-506; 1991) wurde ein Areal von  $5.12 \times 5.12 \text{ mm}^2$  bei einer Auflösung von  $20\mu\text{m}$  in 256 Parallelschnitten vermessen und daraus der arithmetische Mittenrauhwert  $R_a$  gemäß DIN 4762: Oberflächenrauheit, Begriffe, Oberfläche und ihre Kenngrößen; Beuth Verlag, Berlin; 1/1989, ermittelt. In Abbildung 6 sind die ermittelten  $R_a$ -Werte über dem Behandlungszeitraum aufgetragen, wobei eine Abnahme des Mittenrauhwertes zu erkennen ist. Zum Ende der Behandlung hin stellte sich ein geringfügiges Nachlassen der hautglättenden Wirkung des Präparates ein, welches sich in einem leichten Wiederanstieg der  $R_a$ -Werte äußerte, wobei der arithmetische Mittenrauhwert allerdings nach wie vor deutlich unter den vor der Applikation von pH5-Eucerin<sup>(R)</sup> ermittelten Werten lag.

Vergleichend zur Abbildung 6 ist für die Texturparameter festzustellen: Einige Texturparameter weisen ein dem Verlauf des arithmetischen Mittenrauhwertes ähnliches Verhalten auf, sind also offensichtlich sensitiv zur Detektion einer kosmetischen Behandlung. Andere Texturkenngrößen werden durch Applikation eines kosmetischen Präparates nicht in ihrem Kurvenverlauf beeinflußt. Im einzelnen gilt:

Deutlich sichtbar war ein Behandlungseffekt anhand der Parameter

- Korrelation  $C_{COR}$ ,
- Kontrast  $C_{CON}$ ,
- Run Length Nonuniformity  $R_{RLN}$ ;

diese Kenngrößen sind in Abbildung 7 aufgetragen. Während die Korrelation eine dem  $R_a$ -Wert entsprechende Abnahme durch Applikation des kosmetischen Präparates sowie eine leicht ansteigende Tendenz zum Ende der

Behandlung hin aufweist, verhält sich der Kontrast umgekehrt proportional dem arithmetischen Mittenrauhwert; letztgenannten Verlauf weist auch die Run Length Nonuniformity auf.

Schwach, aber nicht signifikant erkennbar war der Behandlungseffekt anhand der Kenngrößen Zweites Winkelmoment  $C_{ASM}$ , Entropie  $C_{ENT}$ , Run Percentage  $R_{RP}$ , Short Run Emphasis  $R_{SRE}$ , Long run Emphasis  $R_{LRE}$  und Gray Level Nonuniformity  $R_{GLN}$ .

Keine ausgeprägte Tendenz in der Veränderung der Parameter bei kosmetischer Behandlung zeigten die statistischen Kennwerte.

Festzuhalten ist, daß in allen hier angegebenen Parametern von Co-Occurrence-Matrix und Run-Length-Matrix eine mehr oder weniger ausgeprägte Veränderung aufgrund einer kosmetischen Behandlung gegenüber der unbehandelten Haut zu erkennen ist, während die Parameter der Grauwertverteilung keine Eignung aufweisen. Die Korrelation verläuft dabei proportional dem arithmetischen Mittenrauhwert, die Werte von Kontrast und Run Length Nonuniformity haben hingegen dein zu  $R_a$  umgekehrt proportionales Verhalten. Die Veränderung der Texturparameter durch eine Behandlung weist in ihren Zahlenwerten eine Höhe auf, die etwas größer ist, als die Höhe des Bandes ist, in dem die sechs auf verschiedenen Meßfeldern eines Hautareals erhaltenen Kenngrößen liegen; die Veränderung ist aber deutlich kleiner als es die Unterschiede zwischen einzelnen Hautarealen sind. Ein Behandlungseffekt kann demnach durch das beschriebene einfache bildanalytische Verfahren charakterisiert werden.

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren wird ein in der quantitativen Hautuntersuchung neuer Parametersatz vorgestellt, der es ermöglicht, eine recht differenzierte Charakterisierung der menschlichen Hautoberfläche vorzunehmen. Kenngrößen der Co-Occurrence-Matrix und der Run-Length-Matrix sowie auch statistische Kennwerte der Grauwertverteilung stellen zu den bisher überwiegend verwendeten Rauheitsparametern eine sinnvolle Alternative dar. Einerseits besitzt das vorgestellte Verfahren einen deutlich geringeren Zeitaufwand für eine Messung mit anschließender Auswertung als eine Bestimmung von Rauheitskenngrößen, andererseits kann durch die Vielzahl von einfach zu ermittelnden Texturkenngrößen eine stärkere Unterscheidung einzelner Hautcharakteristika erfolgen. Die Beschreibung von acht unterschiedlichen Hautarealen mit Hilfe von Texturparametern ist ein erster Schritt in Richtung einer gesamtheitlichen mathematischen Beschreibung der Hautoberfläche des menschlichen Körpers.

Die Möglichkeiten, verhältnismäßig leichte Veränderungen der Hautoberfläche durch Einflüsse wie kosmetische Behandlung mittels bildanalytischer Texturuntersuchungen zu charakterisieren, sind in dieser Erfindung vorgestellt worden. Aufgrund dieser Resultate konnten einige Texturparameter angegeben werden, die einen Behandlungseffekt deutlich aufzeigten, und Parameter, in denen nur leichte Trends erkennbar waren. Ganz sicher können durch eine Texturanalyse aber mehr oder weniger ausgeprägte, gegebenenfalls auch pathologische Veränderungen der Hautoberfläche detektiert werden.

Entscheidend ist dieses insbesondere im Hinblick auf zukünftig wesentlich vereinfachte quantitative Untersuchungsverfahren der menschlichen Hautoberfläche.

Ein besonderer Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens liegt darin, daß es direkt an der lebenden Haut angewendet werden kann, da die Messungen schnell erfolgen können. Es ist also nicht erforderlich, in einem aufwendigen Zwischenschritt, Replicate der Hautoberflächen herzustellen.

In den Abbildungen sind weitere Erläuterungen des neuen Ansatzes zur bildanalytischen Charakterisierung des Stratum Corneum angegeben:

Figur 10/1 zeigt als Abbildung 1 den apparativen Aufbau zur bildanalytischen Texturuntersuchung.

Figur 10/2 zeigt als Bild 2 das Grauwertbild einer Replica.

Figur 10/3 zeigt als Abbildung 3 den Einfluß des Beleuchtungswinkels auf die Parameter der Co-Occurrence-Matrix  $C_{90^\circ,1}$  und der Run-Length-Matrix  $R_{90^\circ}$ .

Figur 10/4 zeigt als Bild 4a die Abdrucknahme an unterschiedlichen Körperpartien.

Figur 10/5 zeigt als Bild 4b die Abdrucknahme an unterschiedlichen Körperpartien.

Figur 10/6 zeigt als Abbildung 5a statistische Kenngrößen  $m_{gw}$  sowie  $\gamma_2$ , Parameter der Co-Occurrence-Matrix  $C_{0^\circ,1}$  und Kennwerte der Run-Length-Matrix  $R_0$ .

Figur 10/7 zeigt als Abbildung 5b statistische Kenngrößen  $m_{gw}$  sowie  $\gamma_2$ , Parameter der Co-Occurrence-Matrix  $C_{0^\circ,1}$  und Kennwerte der Run-Length-Matrix  $R_0$ .

Figur 10/8 zeigt als Abbildung 5c statistische Kenngrößen  $m_{gw}$  sowie  $\gamma_2$ , Parameter der Co-Occurrence-Matrix  $C_{0^\circ,1}$  und Kennwerte der Run-Length-Matrix  $R_0$ .

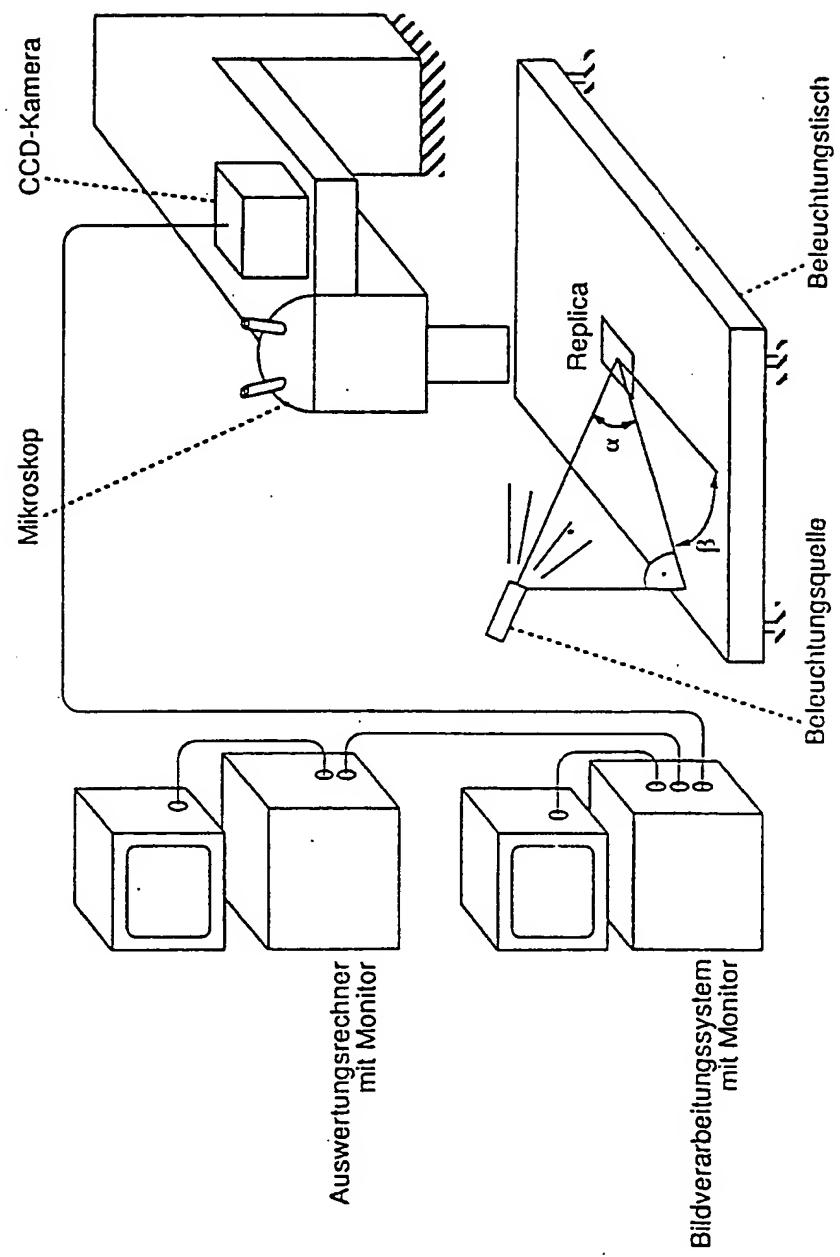
Figur 10/9 zeigt als Abbildung 6 den Mittenrauhwert  $R_a$  während einer kosmetischen Behandlung.

Figur 10/10 zeigt als Abbildung 7 Texturparameter während einer kosmetischen Behandlung.

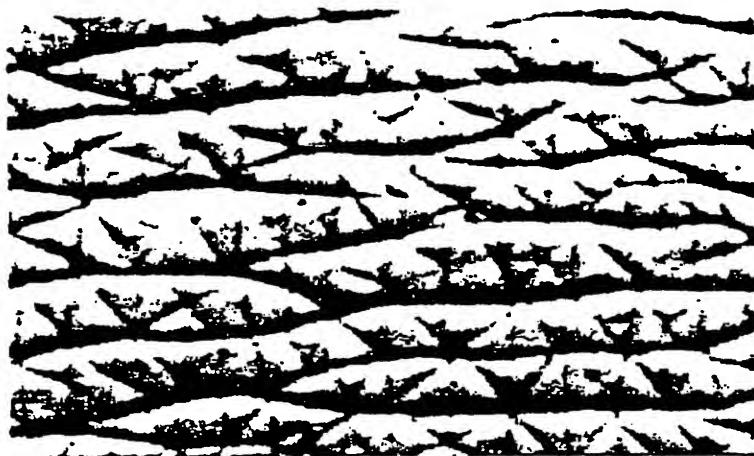
## Patentansprüche

- 1) Verfahren zur meßtechnischen quantitativen Bestimmung der Textur der menschlichen Hautoberfläche durch Registrierung, Wiedergabe und Analysierung von Bildinformationen, dadurch gekennzeichnet, daß man Grauwertbilder von der Haut oder einem Abdruck der Hautoberfläche (Replica) unter gezielter Beleuchtung der Haut oder Replica unter einem definiertem Beleuchtungswinkel anfertigt und mathematische Kenngrößen über die Grauwertverteilung über digitale Bildverarbeitung ermittelt und daß man a) zusätzlich Bilder von unterschiedlich kontrastierter flächiger Struktur herstellt und Kenngrößen über die Grauwertübergänge ermittelt und/oder b) die Lauflängen eines Grauwertes hinsichtlich ihrer Normverteilung und ihrer Verteilungsfunktionen sowie signifikanter Abweichungen analysiert.
- 2) Verfahren gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß man Kennwerte oder Kenngrößen der Co-Occurrence-Matrix und/oder der Run-Length-Matrix verwendet.
- 3) Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß man als Kenngrößen oder Parameter die Korrelation  $C_{COR}$ , den Kontrast  $C_{CON}$  und/oder die Run Length Nonuniformity  $R_{RLN}$  verwendet.
- 4) Verfahren nach Anspruch 1 zur meßtechnischen Bestimmung der Textur vor und/oder nach Behandlung der menschlichen Hautoberfläche mit kosmetischen oder pharmazeutischen Mitteln.

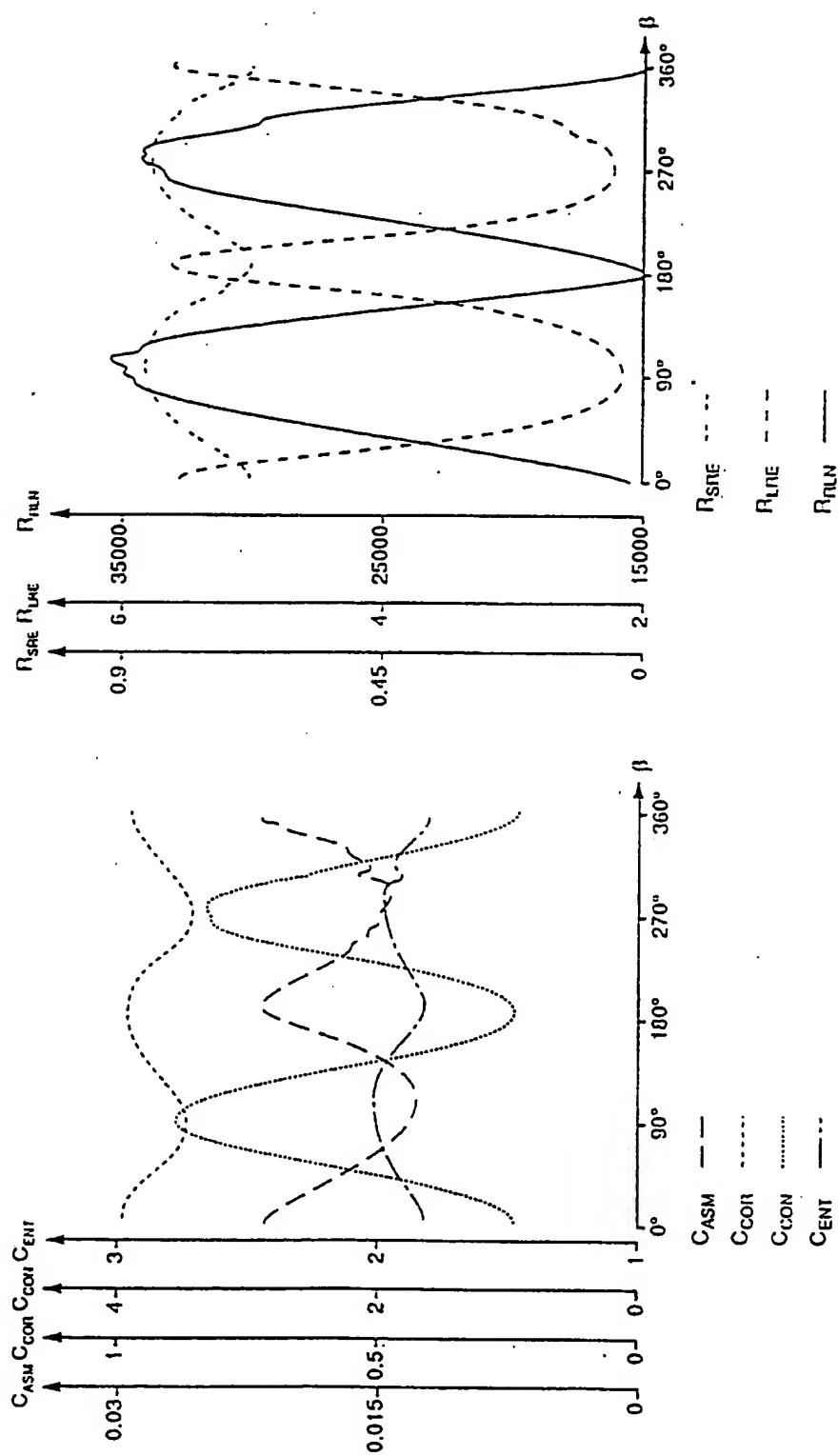
- 5) Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß sie aus einer Kaltlichtquelle zur Beleuchtung der Probe (Haut, Replica), einem Mikroskop und einer CCD-Kamera zur Aufnahme der Grauwertbilder und einem Bildverarbeitungssystem und einem Auswerterechner mit dem beschriebenen Rechenprogramm für die Grauwertbilder besteht.



**BEST AVAILABLE COPY**



ERSATZBLATT (REGEL 26)



BEST AVAILABLE COPY

b)



a)



d)



c)



BEST AVAILABLE COPY

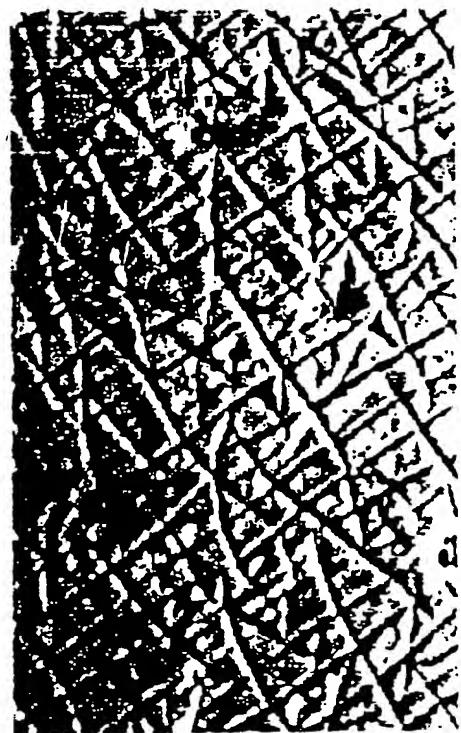
f)



e)



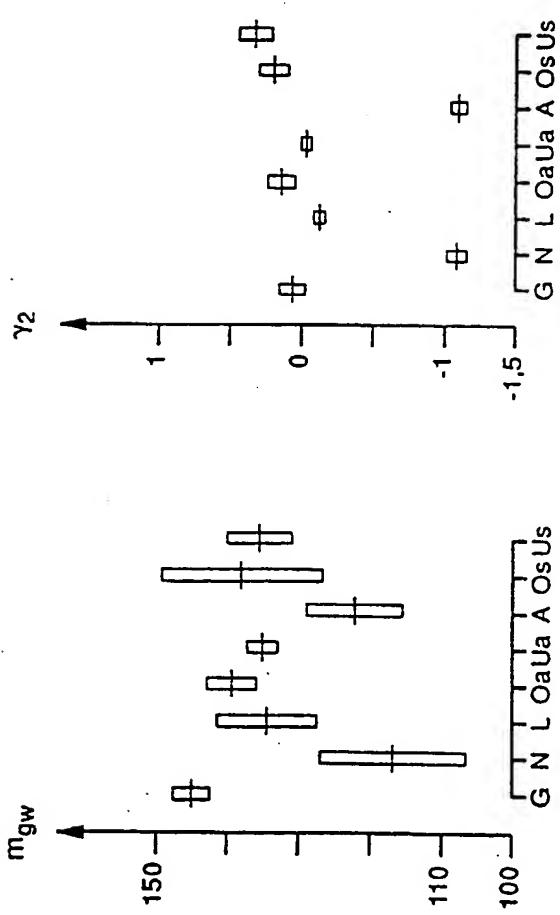
h)

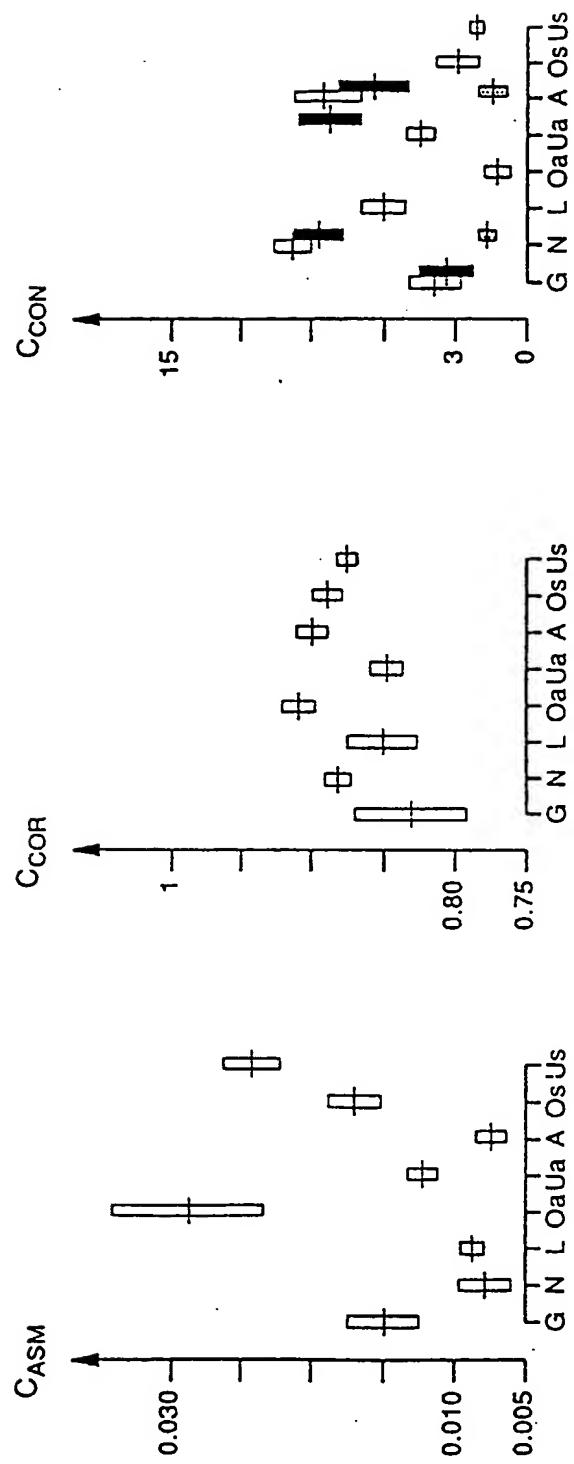


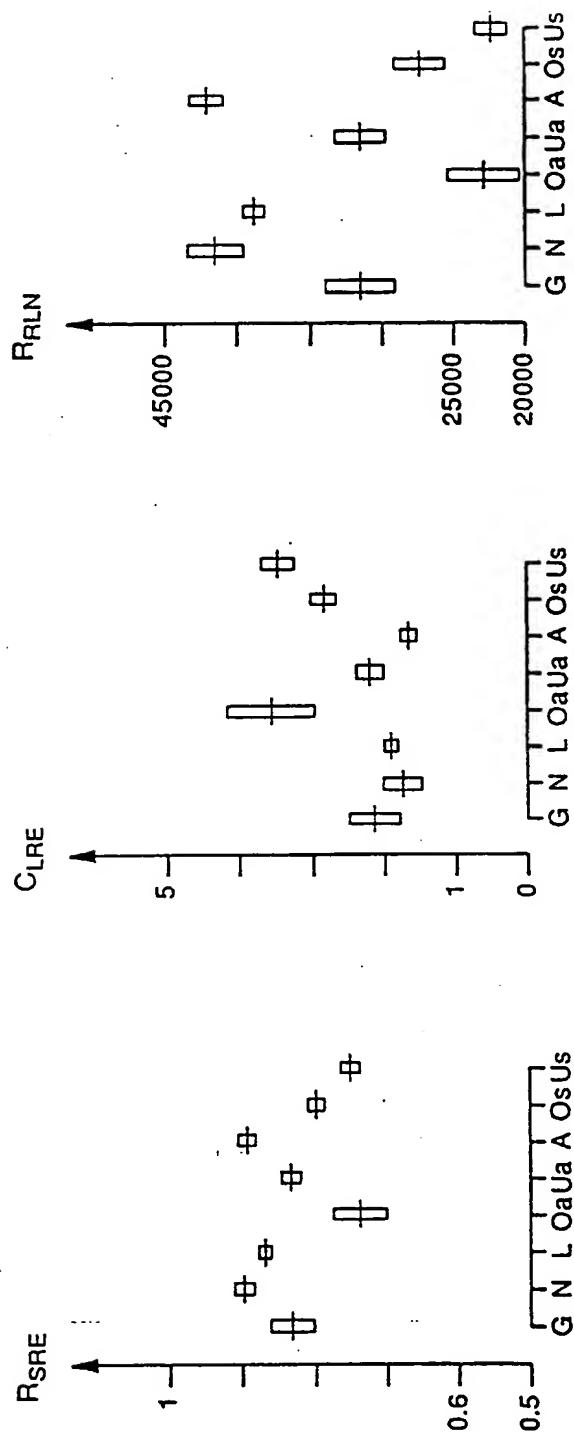
g)

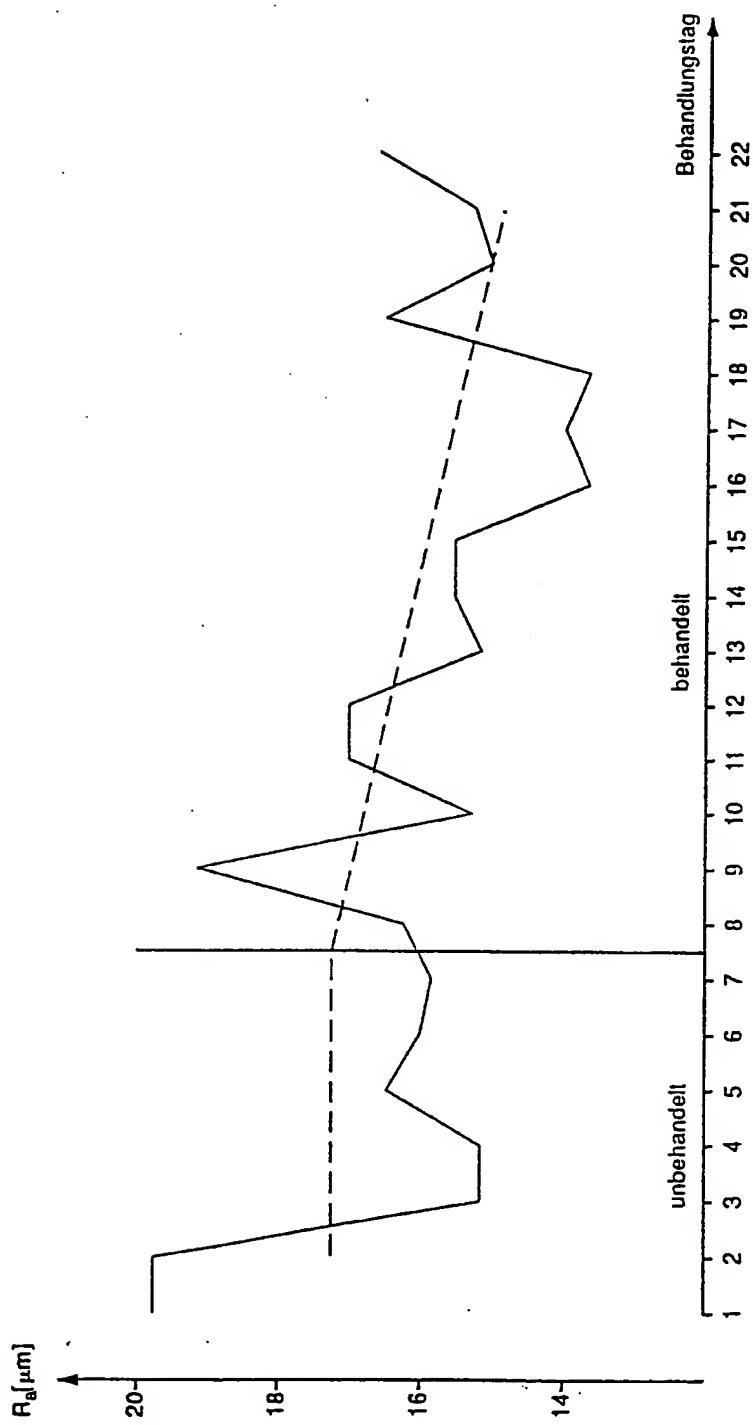


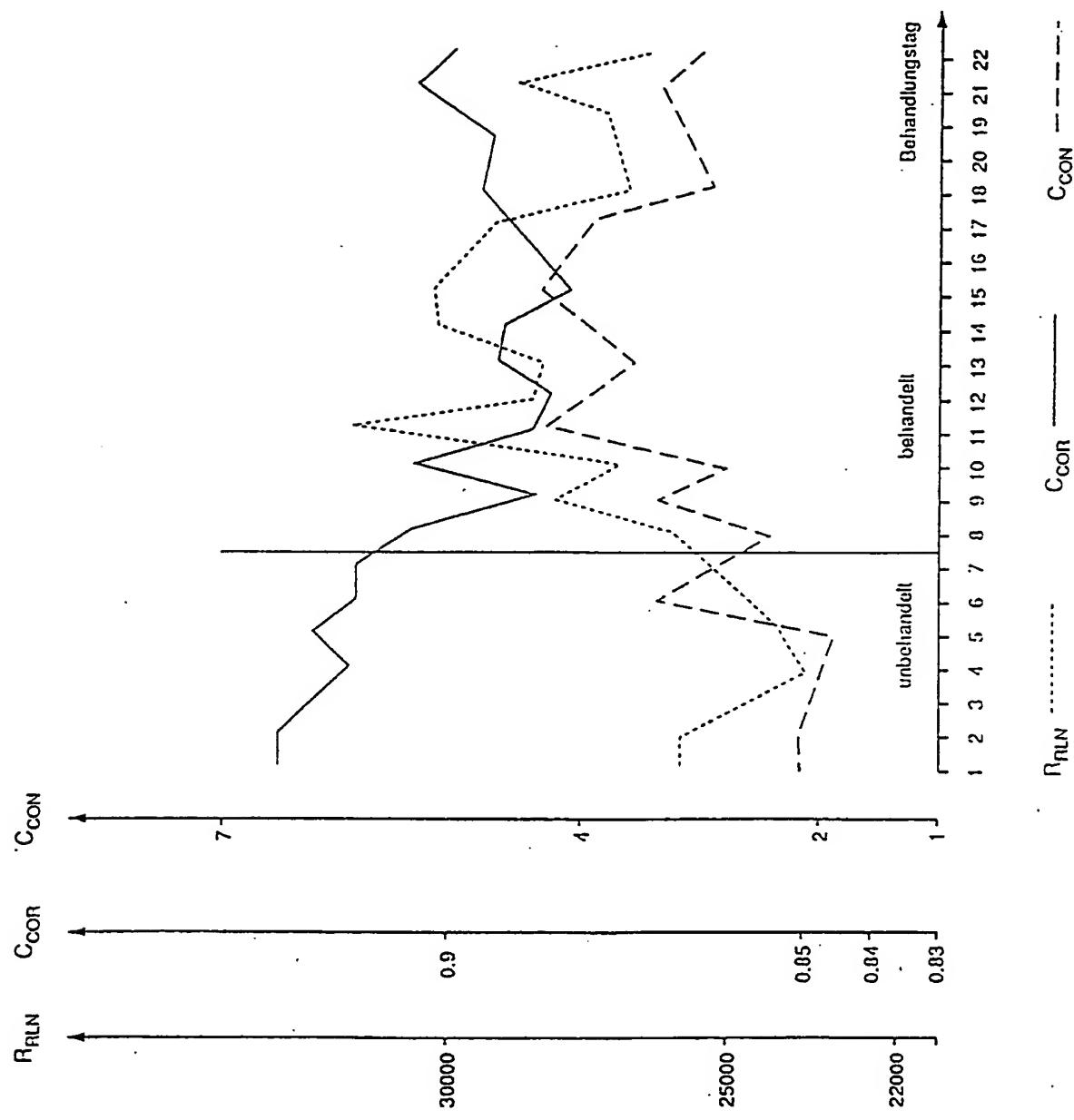
G: Gesicht  
N: Nacken  
L: Lumbalregion  
Oa: Oberarm  
Ua: Unterarm  
A: Abdomen  
Os: Oberschenkel  
Us: Unterschenkel











## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 94/01243

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 5 A61B5/103

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
IPC 5 A61B G01B G06F

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	EP, A, 0 312 736 (KAO CORPORATION) 26 April 1989 see page 2, line 7 - line 10 see page 3, line 14 - page 5, line 9; figures	1
A	---	5
Y	IEEE TRANSACTIONS ON PATTERN ANALYSIS AND MACHINE INTELLIGENCE, vol.10, no.1, January 1988, US pages 92 - 105 SIEW ET AL. 'Texture measures for carpet wear assessment' see page 92, right column, line 4 - page 96, right column, line 11; figures 1,2	1
A	---	2,3,5
	-/-	

 Further documents are listed in the continuation of box C. Patent family members are listed in annex.

## \* Special categories of cited documents :

- 'A' document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- 'E' earlier document but published on or after the international filing date
- 'L' document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- 'O' document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- 'P' document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- 'T' later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- 'X' document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- 'Y' document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- '&' document member of the same patent family

2

Date of the actual completion of the international search

29 August 1994

Date of mailing of the international search report

23.09.94

## Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+ 31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax (+ 31-70) 340-3016

## Authorized officer

Chen, A

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 94/01243

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	FR,A,2 570 206 (SHISEIDO COMPANY, LIMITED) 14 March 1986 see page 4, line 21 - page 12, line 27; figures ---	1,4,5
A	JOURNAL OF THE SOCIETY OF COSMETIC CHEMISTS, vol.34, no.1, January 1983 pages 177 - 189 CORCUFF ET AL. 'Skin relief and aging' cited in the application see page 177, line 1 - page 179, line 10; figure 1 ---	1,5
A	IEEE TRANSACTIONS ON SYSTEMS, MAN, AND CYBERNETICS, vol.3, no.6, November 1973, US pages 610 - 621 HARALICK ET AL. 'Textural features for image classification' cited in the application see page 611, right column, line 45 - page 615, left column, line 17; figures 1-4 ---	1,2
A	COMPUTER GRAPHICS AND IMAGE PROCESSING, vol.4, 1975 pages 172 - 179 GALLOWAY 'Texture analysis using gray level run lengths' cited in the application see the whole document -----	1-3

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

Information on patent family members

International Application No

**PCT/EP 94/01243**

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)		Publication date
EP-A-0312736	26-04-89	JP-A-	1059145	06-03-89
		US-A-	5005975	09-04-91
FR-A-2570206	14-03-86	JP-A-	61064232	02-04-86

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 94/01243

A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
IPK 5 A61B5/103

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprässtoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 5 A61B G01B G06F

Recherchierte aber nicht zum Mindestprässtoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	EP, A, 0 312 736 (KAO CORPORATION) 26. April 1989 siehe Seite 2, Zeile 7 - Zeile 10 siehe Seite 3, Zeile 14 - Seite 5, Zeile 9; Abbildungen	1
A	---	5
Y	IEEE TRANSACTIONS ON PATTERN ANALYSIS AND MACHINE INTELLIGENCE, Bd.10, Nr.1, Januar 1988, US Seiten 92 - 105 SIEW ET AL. 'Texture measures for carpet wear assessment' siehe Seite 92, rechte Spalte, Zeile 4 - Seite 96, rechte Spalte, Zeile 11; Abbildungen 1,2	1
A	---	2,3,5
	-/-	



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

- \* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
- \*' A' Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- \*' E' älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- \*' L' Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- \*' O' Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- \*' P' Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

- \*' T' Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
- \*' X' Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden
- \*' Y' Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann nahelegend ist
- \*' &' Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

2

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

29. August 1994

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

22.09.94

Name und Postanschrift der Internationale Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+ 31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax (+ 31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Chen, A

## INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 94/01243

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	FR,A,2 570 206 (SHISEIDO COMPANY, LIMITED) 14. März 1986 siehe Seite 4, Zeile 21 - Seite 12, Zeile 27; Abbildungen ---	1,4,5
A	JOURNAL OF THE SOCIETY OF COSMETIC CHEMISTS, Bd.34, Nr.1, Januar 1983 Seiten 177 - 189 CORCUFF ET AL. 'Skin relief and aging' in der Anmeldung erwähnt siehe Seite 177, Zeile 1 - Seite 179, Zeile 10; Abbildung 1 ---	1,5
A	IEEE TRANSACTIONS ON SYSTEMS, MAN, AND CYBERNETICS, Bd.3, Nr.6, November 1973, US Seiten 610 - 621 HARALICK ET AL. 'Textural features for image classification' in der Anmeldung erwähnt siehe Seite 611, rechte Spalte, Zeile 45 - Seite 615, linke Spalte, Zeile 17; Abbildungen 1-4 ---	1,2
A	COMPPUTER GRAPHICS AND IMAGE PROCESSING, Bd.4, 1975 Seiten 172 - 179 GALLOWAY 'Texture analysis using gray level run lengths' in der Anmeldung erwähnt siehe das ganze Dokument -----	1-3

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

**PCT/EP 94/01243**

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
EP-A-0312736	26-04-89	JP-A-	1059145	06-03-89
		US-A-	5005975	09-04-91
FR-A-2570206	14-03-86	JP-A-	61064232	02-04-86